نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸، ص ۱۲۹۱-۱۲۷۵

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.4, Winter 2020, p. 1275-1291

اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی بور و روی بر عملکرد و برخی خصوصیات مورفولوژیک و زراعی گلرنگ بهاره (*Carthamus tinctorius* L.)

سمیه سهیلی موحد[۱]، سعید خماری[۲*]، پریسا شیخ‌زاده[۳] و بهرام علیزاده[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۱۷

سهیلی موحد، س.، خماری، س.، شیخ‌زاده، پ. و علیزاده، ب. ۱۳۹۸. اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی بور و روی بر عملکرد و برخی خصوصیات مورفولوژیک و زراعی گلرنگ بهاره (*Carthamus tinctorius* L.). بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۱ (۴):۱۲۹۱-۱۲۷۵.

چکیده

به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف بور و روی بر عملکرد و برخی صفات مورفولوژیک و زراعی گلرنگ بهاره (*Carthamus tinctorius* L.) (رقم محلی اصفهان) تحت تنش خشکی انتهای فصل، دو آزمایش جداگانه طی سال‌های زراعی ۹۳- ۱۳۹۲ و ۹۴- ۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی به‌صورت اسپیلیت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. کرت اصلی شامل سه سطح محدودیت آب (S_1= آبیاری کامل تا انتهای فصل، S_2= قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی و S_3= قطع آبیاری از مرحله دانه‌بندی) و کرت فرعی شامل ترکیب فاکتوریل عناصر ریزمغذی بور (B_1= ۰، B_2= ۳۵۰ و B_3= ۷۰۰ پی‌پی‌ام) و روی (Zn_1= ۰، Zn_2= ۱۰۰۰ و Zn_3= ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام) بود. نتایج نشان داد که در سال اول آزمایش کلیه صفات مورد بررسی تحت اثرات منفی محدودیت آب قرار گرفتند. تنش خشکی در مرحله گل‌دهی (S_2) و دانه‌بندی (S_3)، به‌صورت معنی‌داری عملکرد دانه را نسبت به شاهد (S_1) کاهش داد (به‌ترتیب ۱۵/۶۲ درصد و ۱۲/۷۷ درصد). در سال دوم به‌علت بارش‌های فراوان در طی دوره تنش اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای آبیاری در کلیه صفات مشاهده نشد. در هر دو سال آزمایش تیمارهای B_3Zn_2 و B_2Zn_2 در صفات عملکرد و درصد مغز دانه حداکثر افزایش معنی‌دار و در صفات درصد پوسته دانه و نسبت پوسته به مغز بیش‌ترین کاهش معنی‌دار را نسبت به شاهد نشان دادند. هم‌چنین این تیمارها بالاترین قطر طبق (به‌ترتیب ۴۲/۸۳ و ۴۲/۳۱ میلی‌متر)، طول (به‌ترتیب ۸/۸۴ و ۸/۶۳ میلی‌متر) و عرض دانه (به‌ترتیب ۴/۸۹ و ۴/۷۷ میلی‌متر) را دارا بودند. در هر دو سال آزمایش بیش‌ترین طول دانه در کلیه سطوح آبیاری در تیمار B_3 مشاهده شد. محلول‌پاشی عناصر بور و روی در شرایط تنش در مرحله گل‌دهی و دانه‌بندی، اکثر صفات مورد بررسی را به‌طور معنی‌داری بهبود بخشید. وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار بین عملکرد و سایر صفات مورد مطالعه نشان داد که عناصر ریزمغذی اگر در زمان مناسب و به‌مقدار بهینه مصرف گردد، در مقاومت به خشکی گیاه اثر مثبت خواهند گذاشت. به‌طورکلی، محلول‌پاشی برگی عناصر بور و روی نسبت به شاهد توانست تا حدودی خسارات ناشی از محدودیت آب را در گلرنگ جبران نماید.

واژه‌های کلیدی: پوسته و مغز دانه، محدودیت آب، عناصر ریزمغذی

مقدمه

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) گیاهی یک‌ساله و متعلق به خانواده کاسنی (Asteraceae)، از گیاهان بومی ایران می‌باشد که در اکثر کشورهای جهان و ایران به‌عنوان گیاهی روغنی مورد کشت‌وکار قرار می‌گیرد. روغن این گیاه به‌دلیل دارا بودن کیفیت بالا یکی از مرغوب‌ترین انواع روغن‌ها می‌باشد (Rezvani Moghaddam et al., 2015). گلرنگ به‌دلیل داشتن ریشه‌های طویل و توانایی جذب رطوبت از اعماق خاک به‌عنوان یک گیاه متحمل به کم‌آبی شناخته شده است. علاوه‌بر آن، این گیاه می‌تواند

۱، ۲، ۳ و ۴- به‌ترتیب دانش‌آموخته دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشیار و استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران و دانشیار مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: saeid.khomari@yahoo.com)
Doi: 10.22067/jag.v11i4.72028

در مناطق سرد و خاک‌هایی با حاصلخیزی کم به‌خوبی رشد نماید (Fanaei et al., 2017).

گیاهان تحت شرایط طبیعی و زراعی به‌طور مداوم در معرض تنش‌های مختلف قرار می‌گیرند و در این بین تنش خشکی مهم‌ترین عامل محدودکننده عملکرد گیاهان زراعی در بسیاری از نقاط جهان و ایران می‌باشد (Arvin et al., 2018). فنائی و ناروئی راد (Fanaei & narouirad, 2014) و امیدی (Omidi, 2009) اعلام کردند که تنش خشکی انتهای فصل عملکرد دانه را از طریق تحت تأثیر قرار دادن صفات زراعی و اجزای عملکرد کاهش می‌دهد. هم‌چنین نام و همکاران (Nam et al., 1993) گزارش دادند که تنش رطوبت در لپه‌هندی به‌شدت وزن خشک گیاه و عملکرد آن را کاهش داد. میزان کاهش عملکرد با ارقام و مرحله اعمال تنش تغییر نمود، به‌طوری‌که تنش خشکی در مرحله گل‌دهی، نسبت به تنش در مرحله قبل از گل‌دهی یا پر شدن دانه، تأثیر بیش‌تری بر کل ماده خشک و عملکرد دانه داشت. تنش هم‌زمان با گل‌دهی موجب کاهش عملکرد دانه در حدود ۴۵-۴۰ درصد شد. یکی از عوامل مؤثر در زمینه افزایش عملکرد گیاهانی مانند گلرنگ و آفتابگردان، وزن و ویژگی‌های فیزیکی دانه‌ها می‌باشد. تأثیر کاهشی تنش کمبود آب در بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی دانه مثل طول، عرض و ضخامت دانه به اثبات رسیده است (Allahdadi et al., 2012; Baldini & Vannozzi, 1996). گزارش شده که در شرایط تنش مغز دانه کاهش می‌یابد (Allahdadi et Arab et al., 2016; Farrokhinia et al., 2011 al., 2012;). راویشانکار و همکاران (Ravishankar et al., 1990) نتیجه گرفتند که تنش خشکی باعث افزایش وزن پوست دانه‌ها و کاهش درصد مغز به دانه شد. مطالعات نشان داده که تنش خشکی باعث کاهش تعداد برگ (Ghassemi et al., Mohamadi, 2016; 2016) و قطر طبق (Ghassemi et al., 2016; Tahmasebpour & Mohammadian, 2013) در گیاه گلرنگ گردید.

یکی از اثرات تنش خشکی، برهم‌زدن تعادل تغذیه‌ای در گیاه است (Lewis & McFarlane, 1986). تغذیه مناسب تحت شرایط تنش می‌تواند تاحدی به گیاه در مقابل تنش‌های مختلف کمک کند. با محلول‌پاشی عناصر غذایی کم‌مصرف می‌توان وضعیت رشد گیاه را در شرایط تنش بهبود بخشید (Alloway, 2004). بور برای رشد طبیعی گیاه ضروری بوده و کمبود آن باعث کاهش رشد و عملکرد می‌شود (Sarker et al., 2002). در خاک‌های مناطق خشک به‌دلیل کاهش تحرک بور به‌وسیله جریان توده‌ای و پلیمرشدن اسید بوریک کمبود بور مطرح می‌باشد. ازطرفی دیگر در این خاک‌ها بالا بودن کلسیم خاک جذب بور را کاهش خواهد داد (Ghalavi et al., 2012). روی نقش بسیار مهمی در فرآیندهای مختلف بیوشیمیایی سلول‌های گیاهی بر عهده دارد. هر عامل ثانویه‌ای که سبب غیرقابل دسترس شدن این عنصر برای گیاه گردد، علائم ناشی از کمبود را به شکل‌های مختلف از جمله کاهش رشد، عملکرد و غلظت این عنصر در اندام‌های مختلف گیاه از قبیل بذر آشکار خواهد نمود (Heidarian et al., 2011). گزارش‌های متعددی وجود دارد که عناصر کم‌مصرف بور و روی با بهبود اجزاء عملکرد منجر به افزایش عملکرد گلرنگ (Karimi et al., Ghalavi et al., 2012; Ravi et al., 2008 Movahhedi Dehnavi et al., 2009; 2017) گردیده‌اند.

در مورد تأثیر تنش خشکی و محلول‌پاشی عناصر بور و روی در اکثر صفات مورد بررسی در این آزمایش مطالعات چندانی صورت نگرفته است و همین امر ضرورت انجام تحقیق را دوچندان می‌کند.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بور و روی برعملکرد و برخی ویژگی‌های مورفولوژیک و زراعی گلرنگ بهاره (رقم محلی اصفهان)، دو آزمایش جداگانه طی سال‌های زراعی ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی، با مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۸ درجه و ۵ دقیقه عرض شمالی و با ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریا، به‌صورت اسپیلیت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردیدند. جدول ۱ برخی اطلاعات هواشناسی منطقه اردبیل را در مدت اجرای آزمایش در دو سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳ نشان می‌دهد.

عامل اصلی شامل سطوح مختلف آبیاری در سه سطح (S_1= آبیاری کامل تا انتهای فصل، S_2=قطع آبیاری از مرحله گل‌دهی تا انتهای فصل رشد و S_3= قطع آبیاری از مرحله دانه‌بندی تا انتهای فصل رشد) و عامل فرعی شامل ترکیب فاکتوریل دو عنصر بور و روی بود که عامل بور در سه سطح (B_1= ۰، B_2= ۳۵۰ و B_3= ۷۰۰ پی‌پی‌ام) و عامل روی نیز در سه سطح (Zn_1=۰، Zn_2= ۱۰۰۰ و Zn_3= ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام) انتخاب شدند. محلول‌پاشی بور به‌صورت اسید بوریک (ساخت شرکت Merck KGaA) و روی به‌صورت سولفات روی (ساخت شرکت Sigma-Aldrich) در یک مرحله و در زمان ۵۰

درصد گل‌دهی انجام شد.

جدول ۱- برخی اطلاعات هواشناسی منطقه اردبیل طی فصل رشد گلرنگ در دو سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ و ۹۴-۱۳۹۳

Table 1- Some meteorological data of Ardabil area during growth period of safflower during 2013-14 and 2014-15 growing seasons.

ماه Months	میانگین حداقل و حداکثر دما Means of maximum and minimum temperature (°C)		میزان و پراکندگی بارش Rainfall pattern and amount (mm)	
	2014	2015	2014	2015
اردیبهشت May	15.3	12.9	35.4	26.5
خرداد June	17.8	17.9	24.5	7
تیر July	19.4	19.9	12.2	3.6
مرداد August	19.8	20.4	0.4	0
شهریور September	18.8	16.9	0.6	48.9

کاشت بذور گلرنگ در تاریخ‌های ۱۳۹۳/۲/۲۲ و ۱۳۹۴/۲/۲۲ به‌صورت دستی و در عمق پنج سانتیمتر و در کرت‌هایی با مساحت ۵/۴ مترمربع (طول سه متر و عرض ۱/۸ متر) به‌صورت جوی و پشته انجام شد. فاصله بین ردیف‌های کاشت ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف ۱۰ سانتی‌متر (Anonymous, 2013) و فاصله بین کرت‌ها ۱/۵ متر بود و در مجموع تراکم ۳۳ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. تسطیح و هموار کردن زمین محل آزمایش و ایجاد جوی و پشته پس از شخم پائیزه و دیسک‌زنی بهاره انجام شد. کودهای مصرفی شامل نیتروژن، فسفر و پتاس بر اساس نتایج آزمون خاک (جدول ۲) به‌طور یکسان برای تمامی کرت‌ها و به‌ترتیب ۱۰۰ کیلوگرم اوره، ۵۰ کیلوگرم فسفات آمونیم و ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هر هکتار اعمال شد. اولین آبیاری پس از کاشت انجام شد و آبیاری‌های بعدی تا پایان فصل رشد، بر اساس بافت خاک و شرایط آب‌وهوایی صورت گرفتند. عملیات داشت مانند مبارزه با علف‌های هرز و ... در طول دوره رشد گیاه، انجام گرفت. در پایان فصل رشد و پس از رسیدگی کامل تعداد ۱۰ بوته از هر کرت انتخاب و ویژگی‌های ارتفاع بوته، تعداد برگ و قطر طبق اندازه‌گیری شد. ارزیابی طول و عرض دانه‌ها طبق روش لیندستروم و همکاران Lindstrom et al., (2006) انجام گردید؛ به‌طوری‌که از طبق‌های هر کرت ۲۰ دانه در سه تکرار به‌طور تصادفی انتخاب و طول و عرض دانه‌ها به‌وسیله کولیس با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. برای به‌دست آوردن درصد پوسته و مغز بذر بر اساس روش گوپتا و داس (Gupta & Das, 1997) از دانه‌های برداشت‌شده هر واحد آزمایشی دو تکرار ۲۰ گرمی دانه انتخاب و پس از جدا کردن پوست از مغز، وزن مغز و وزن پوسته به‌وسیله ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۰۱± گرم تعیین شد. اعداد به‌دست آمده بر ۲۰ گرم تقسیم و سپس بر حسب درصد بیان گردیدند. نسبت پوسته به مغز نیز از تقسیم وزن پوسته به وزن مغز دانه به‌دست آمد. برای تعیین عملکرد دانه، به‌هنگام برداشت با حذف حاشیه از دو ردیف وسط هر کرت دو مترمربع برداشت گردید و میانگین عملکرد دانه محاسبه گردید. داده‌های موجود به کیلوگرم در هکتار تبدیل شدند.

پس از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه و تحلیل آماری توسط نرم‌افزار SAS انجام شد. مقایسه میانگین صفات مورد بررسی به روش آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت.

نتایج و بحث

درصد پوسته و مغز دانه و نسبت پوسته به مغز

نتایج تجزیه مرکب داده‌های دو سال نشان داد که اثرات اصلی سال، آبیاری، بور، روی و اثرات متقابل سال×آبیاری، سال×بور، سال×روی، بور×روی و سال×بور×روی بر صفات درصد پوسته و مغز و نسبت پوسته به مغز دانه گلرنگ معنی‌دار شدند (جدول ۳).

جدول ۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش
Table 2- Soil physical and chemical characteristics of experimental location

ماده آلی Organic matter (%)	اسیدیته (pH)	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	نیتروژن کل Nitrogen Total (%)	فسفر Phosphorus (ppm)	پتاسیم Potassium (ppm)	بور Boron (ppm)	روی Zinc (ppm)
1.22	7.9	0.795	22.56	46.72	30.72	0.47	26	174.9	5.49	0.95

در سال اول بیش‌ترین درصد پوسته دانه (۵۳/۰۹ درصد) و نسبت پوسته به مغز (۱/۱۳۶) و کم‌ترین درصد مغز دانـه (۴۶/۹۱ درصـد) در تیمار قطع آبیاری در گل‌دهـی (S_2) و کـم‌تـرین درصـد پوسـته دانـه (۴۷/۲۴ درصد) و نسبت پوسته به مغز (۰/۸۹۸) و بـیش‌تـرین درصـد مغز دانه (۵۲/۸ درصد) در تیمار بدون قطع آبیاری (S_1) مشـاهده شـد (جدول ۴). در شرایط تنش خشـکی تیمارهـای S_2 و S_3 نسـبت بـه S_1افزایش درصد پوسته دانه (به‌ترتیب ۱۲/۳۸ درصد و ۶/۵۶ درصد) و نسبت پوسته به مغز (به‌ترتیب ۲۶/۵ درصد و ۱۳/۱۴ درصد) و کاهش درصد مغز دانه (به‌ترتیب ۱۱/۱۶ درصد و ۵/۸۷ درصد) را نشان دادند. در سال دوم اختلاف معنی‌داری بین سطوح آبیاری در این صفات دیده نشد (جدول ۴). این امر به‌علت بـارش‌هـای فـراوان در زمـان اعمـال تیمارهای تنش (شهریورماه) می‌باشد (جدول ۱).

گزارش شـده کـه در شـرایط تـنش مغـز دانـه کـاهش مـی‌یابـد (Arab et al., 2016; Farrokhinia et al., 2011). راویشـانکار و همکـاران (Ravishankar et al., 1990) نتیجـه گرفتنـد کـه تـنش خشکی باعث افزایش وزن پوست دانه‌ها و کاهش درصد مغز به دانـه گردیـد. جعفـرزاده کنـار سـری و پوسـتینی (Jafarzadeh Kenarsari & Poostini, 1997) هم در این رابطه اظهار داشتند وقوع تنش رطوبتی در مرحله گل‌دهی و گرده‌افشانی باعث کوچک‌تر شدن دانه و افزایش درصد پوست دانه‌ها و کاهش درصد مغز دانه‌ها گردیـد. مـاده خشک ذخیره در بذر عمدتاً نتیجه فتوسنتز انجام‌شـده طـی دوران پـر- شدن دانه می‌باشد، بنابراین، در اثر تنش خشکی ضـمن آن‌کـه تعـداد سلول‌های بنیادی کاهش می‌یابد، باعث کاهش تولید مواد پرورده شده که در نهایت، منجر به کاهش مغز می‌شـود (Mehrpouyan, 2010). مطالعات نشان می‌دهد که آبیاری مطلوب گیاهان در مرحله دانه‌بنـدی منجر به افزایش طول دوره پر شدن دانه و متقابلاً افـزایش اندوختـه- های غذایی بذر خواهد شد (Talha et al., 1976). به نظر مـی‌رسـد کاهش فتوسنتز به‌دلیل تنش خشکی، موجب کاهش نسبت مغز به کل دانه شده باشد و با ادامه روند تنش خشکی، از میزان مغز در دانه کاسته شد. زیرا وجود آب کافی در نقل و انتقال شیره پرورده و پر شدن دانـه نقش بسزایی دارد و هر چه انتقال مواد به دانه‌ها بیش‌تر باشد، درصـد مغز به پوست دانه افزایش می‌یابد. هرچه درصد نسبی پوسته بـه دانـه کم‌تـر شـود (مغـز افـزایش یابـد) ارزش محصـول افـزایش مـی‌یابـد (Sadeghi Bakhtouri et al., 2014). تنش خشکی سبب افـزایش درصد پوسته نسبت به مغز می‌گردد که نوعی سازگاری بـا تـنش وارد شده می‌باشد که نتایج به‌دست‌آمده با نتـایج حاصـل از آزمـایش‌هـای اکبـری و همکـاران (Akbari et al., 2008)، رشـدی و رضادوسـت (Roshdi & Rezadoost, 2005) و عـلاف و شـکوه‌فـر (Allaf & Shokouhfar, 2016) مطابقت داشت.

مقایسه میانگین اثرات سه‌گانه سال×بـور×روی (جـدول ۵) نشـان داد که در هر دو سال آزمایش محلول‌پاشی عناصر بور و روی موجـب کاهش درصد پوسته و نسبت پوسته به مغز و افزایش درصد مغز دانـه گردید. در هر دو سال تیمارهای B_2Zn_2، B_3Zn_2 و B_1Zn_3 بیش‌ترین کاهش درصد پوسته و نسبت پوسته به مغز و بالاترین افزایش درصـد مغـز دانــه را دارا بودنـد. در سـطوح محلـول‌پاشـی B_2Zn_2، B_3Zn_2 و B_1Zn_3 درصد پوسته دانه، در سال اول به‌ترتیب بـا ۱۱/۹۵ درصـد، ۱۰/۹۸ درصد و ۹/۸۸ درصد و در سـال دوم بـه‌ترتیـب ۷/۸۱ درصـد، ۷/۷۵ درصد و ۶/۱۲ درصد نسبت به تیمار B_1Zn_1 کاهش نشـان داد. هم‌چنین کاهش نسبت پوسته به مغز نیز در این سطوح محلول‌پاشـی نسبت به تیمار B_1Zn_1 در سـال اول بـه‌ترتیـب ۲۲/۴۹ درصـد، ۲۰/۹ درصد و ۱۸/۹۸ درصد و در سال دوم به‌ترتیب ۱۳/۸۹ درصـد، ۱۳/۷۹ درصد و ۱۱/۱۶ درصد به‌دست آمد.

درصد مغز دانه در سطوح محلول‌پاشی B_2Zn_2، B_3Zn_2 و B_1Zn_3 نسبت به B_1Zn_1 در سال اول به‌ترتیب ۱۳/۷۳ درصد، ۱۲/۵۵ درصد و ۱۱/۲۳ درصد و در سال دوم بـه‌ترتیـب ۷/۱۴ درصـد، ۷/۰۸ درصـد و ۵/۵۹ درصد افزایش نشان داد. تیمار B_1Zn_1 بیش‌ترین درصـد پوسـته دانه، نسبت پوسته به مغز و کم‌ترین درصد مغز دانه را دارا بـود کـه در این صفات با کلیه تیمارهای آزمایشی اخـتلاف معنـی‌داری نشـان داد (جدول ۵).

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) اثر آبیاری و محلول‌پاشی کم‌مصرف بر صفات مورد مطالعه گلرنگ در دو سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴

Table 3-The combined analysis of variance (mean of squares) for the effects of irrigation and leaf spraying with micronutrients on studied characteristics of safflower during 2014 and 2015

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	درصد پوسته دانه Seed coat percentage	درصد مغز دانه Seed kernel percentage	نسبت پوسته به مغز Coat/kernel	ارتفاع بوته Plant height	تعداد برگ در بوته Leaf number	قطر طبق Capitol diameter	طول دانه Seed length	عرض دانه Seed width	عملکرد دانه Seed yield
سال Year	1	812.83**	803.89**	1.2**	3368^{ns}	12817.8**	1690.9**	41.52**	49.87**	35601145**
تکرار (سال) Replication (Year)	4	2.8	2.96	0.004	388.08	1268.3	181.83	0.3	2.25	1742172
آبیاری Irrigation	2	112.05**	113.45**	0.186**	46.97^{ns}	3082.08*	159.18**	7.88**	7.04**	2716904**
سال×آبیاری Year×Irrigation	2	119.42**	120.9**	0.197**	57.95^{ns}	3211.6*	170.48**	8.36**	8.37**	1397707**
اشتباه اصلی Error (a)	8	2.72	2.95	0.0044	322.34	675.92	11.01	0.258	0.381	2809752
بور Boron	2	58.97**	56.66**	0.093**	24.1^{ns}	89.49^{ns}	53.74**	2.94**	0.945**	6149059**
آبیاری×بور Irrigation×Boron	4	0.592^{ns}	0.589	0.0008^{ns}	44.3^{ns}	70.17^{ns}	0.596^{ns}	0.037**	0.023^{ns}	147840^{ns}
سال×بور Year×Boron	2	13.26**	12.15**	0.028**	8.89^{ns}	5.45^{ns}	1.26^{ns}	0.0042^{ns}	0.049^{ns}	283540^{ns}
سال×آبیاری×بور Year× Irrigation×Boron	4	0.057^{ns}	0.0515^{ns}	0.00023^{ns}	130.96^{ns}	176.23^{ns}	1.97^{ns}	0.05*	0.014^{ns}	66390^{ns}
روی Zinc	2	58.71**	56.36**	0.085**	60.47^{ns}	136.6^{ns}	63.52**	3.64**	1.38**	11083516**
آبیاری×روی Irrigation×Zinc	4	0.311^{ns}	0.367^{ns}	0.00077^{ns}	1.96^{ns}	38.31^{ns}	1.5^{ns}	0.011^{ns}	0.023^{ns}	176537^{ns}
بور×روی Boron×Zinc	4	31.86**	31.11**	0.047**	117.8^{ns}	106.3^{ns}	42. 22**	2.14**	0.997**	10358508**
آبیاری×بور×روی Irrigation×Boron ×Zinc	8	0.355^{ns}	0.307^{ns}	0.00033^{ns}	31.26^{ns}	42.82^{ns}	1.59^{ns}	0.012^{ns}	0.023^{ns}	93303^{ns}
سال×روی Year×Zinc	2	3.01*	2.77*	0.0066**	56.1^{ns}	51.78^{ns}	1.79^{ns}	0.036^{ns}	0.0295^{ns}	547798^{ns}
سال×آبیاری×روی Year×Irrigation×Zinc	4	0.082^{ns}	0.1^{ns}	0.00039^{ns}	36.7^{ns}	67.59^{ns}	1.24^{ns}	0.023^{ns}	0.029^{ns}	114109^{ns}
سال×بور×روی Year×Boron×Zinc	4	2.42**	2.018*	0.0058**	38.56^{ns}	16.73^{ns}	0.987^{ns}	0.0035^{ns}	0.02^{ns}	752393**
سال×آبیاری×بور×روی Year×Irrigation×Boron×Zinc	8	0.258^{ns}	0.24^{ns}	0.00063^{ns}	92.66^{ns}	99.45^{ns}	2.07^{ns}	0.0076^{ns}	0.017^{ns}	178260^{ns}
اشتباه فرعی Error (b)	96	0.675	0.647	0.00083	56.81	73.74	1.83	0.018	0.026	183465
ضریب تغییرات CV (%)		1.71	1.55	3.1	6.28	9.16	3.33	1.65	3.57	9.44

**, * and ns: are significant at p≤ 0.01 and p≤ 0.05 and not significant, respectively.

ns، * و **: به‌ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱

جدول ٤- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه گلرنگ در برهم‌کنش سال × آبیاری

Table 4- Mean compare of studied characteristics of safflower interact year×irrigation

سال Year	آبیاری Irrigation	درصد پوسته دانه Seed coat (%)	درصد وزن مغز دانه Seed kernel (%)	نسبت پوسته به مغز Coat /kernel	تعداد برگ در بوته Leaf number	قطر طبق Capitol diameter (mm)	عرض دانه Seed width (mm)	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha^{-1})
	S_1	47.24^{c*}	52.8^{b}	0.898^{c}	100.26^{a}	40.8^{b}	4.76^{b}	4494^{b}
Y_1	S_2	53.09^{a}	46.91^{d}	1.136^{a}	69.85^{c}	33.86^{d}	3.28^{d}	3792^{c}
	S_3	50.34^{b}	49.7^{c}	1.016^{b}	84.52^{b}	37.46^{c}	3.76^{c}	3920^{c}
	S_1	45.77^{d}	54.23^{a}	0.845^{d}	103.26^{a}	44.03^{a}	5.01^{a}	5099^{a}
Y_2	S_2	45.67^{d}	54.33^{a}	0.842^{d}	103.63^{a}	44.13^{a}	5.08^{a}	5039^{a}
	S_3	45.78^{d}	54.22^{a}	0.846^{d}	101.11^{a}	43.34^{a}	5.03^{a}	4881^{ab}
$LSD_{(0.05)}$		0.97	0.96	0.038	6.26	1.64	0.211	494.19

* اعداد هر ستون که دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

* The numbers in each column with similar letters, don't have significant difference in 5% level based on LSD test.

Y_1 و Y_2: به‌ترتیب سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴.

Y_1 and Y_2: 2014 and 2015, respectively.

S_1، S_2 و S_3: به‌ترتیب بدون قطع آبیاری، قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و قطع آبیاری در مرحله دانه‌بندی.

S_1, S_2 and S_3: Full irrigation, without irrigation in flowering stage, without irrigation in seed filling stage, respectively.

محلول‌پاشی بور موجب رشد لوله گرده و وجود مواد غذایی کافی دانه گرده و افزایش زمان لقاح مؤثر در گیاه (Agnes, 1995) می‌شود. روی در گرده‌افشانی و لقاح نقش مهمی دارد و برای تولید اکسین جهت رشد سلولی مورد نیاز است. اکسین باعث افزایش دوام برگ و فتوسنتز در گیاه شده، در نتیجه مواد غذایی بیش‌تری به‌سمت دانه‌ها انتقال می‌یابند و از این طریق باعث افزایش درصد مغز خواهد شد. هم‌چنین روی در افزایش طول لوله گرده، زنده ماندن تخمک و افزایش کربوهیدرات گیاهان و مواد حاصل از همانندسازی نقش دارد (Marschner, 1995). مجموعه این عوامل می‌توانند موجب بهبود عوامل کمّی مؤثر از جمله افزایش مغز دانه، کاهش پوسته و نسبت پوسته به مغز گردند. محلول‌پاشی سولفات روی منجر به افزایش مغز دانه در گیاهان آفتابگردان (Fathi, 2011) گردید.

ارتفاع بوته

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که ارتفاع بوته تحت تأثیر هیچ یک از تیمارهای آزمایشی و اثرات متقابل آن‌ها قرار نگرفت. (جدول ۲). عدم تأثیر تیمارهای مختلف بر ارتفاع به این علت است که گیاه در زمان اعمال تیمارهای آزمایشی که در این آزمایش مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی می‌باشد، به ماکزیمم میزان ارتفاع خود رسیده، بنابراین، اعمال تیمارها تغییری در ارتفاع بوته ایجاد نمی‌کند. در گلرنگ ارتفاع بوته قبل از مرحله زایشی تعیین گردیده، با شروع مرحله زایشی و شکفتن گل‌ها رشد طولی متوقف می‌گردد (Farokhinia et al., 2011; Shrestha et al., 2006)، بنابراین، اعمال تیمارها در مرحله زایشی تغییری در ارتفاع بوته ایجاد نمی‌نماید.

تعداد برگ

نتایج تجزیه مرکب داده‌های دو سال نشان داد که اثر اصلی سال، آبیاری و اثرات متقابل سال×آبیاری بر صفت تعداد برگ معنی‌دار شدند (جدول ۳). در سال اول بیش‌ترین تعداد برگ (۱۰۰/۲۶ عدد) در تیمار S_1 و کم‌ترین آن (۶۹/۸۵ عدد) در تیمار S_2 مشاهده شد (جدول ۴). کاهش تعداد برگ در تیمار S_2 و S_3 نسبت به S_1 به‌ترتیب ۳۰/۳۳ درصد و ۱۵/۷ درصد مشاهده شد. در سال دوم اختلاف معنی‌داری بین سطوح آبیاری در این صفت دیده نشد (جدول ۴). این امر به‌علت بارش‌های فراوان در زمان اعمال تیمارهای تنش (شهریور ماه) می‌باشد (جدول ۱).

محدودیت آبی سرعت رشد گیاهان زراعی را با تأثیر منفی بر تولید و توسعه برگ‌ها و تولید ماده خشک کاهش می‌دهد. گیاه برای کاهش تعرق اقدام به ریزش برگ‌ها نموده و با افت ذخیره

کربوهیدرات‌ها، سرعت رشد گیاه کاهش می‌یابد (Karimzadeh et al., 2004). گاهی ریزش برگ بر اثر تنش آبی می‌تواند از افزایش تولید اتیلن توسط گیاه ناشی شده باشد (Taiz & Ziger, 2002). کاهش تعداد برگ در اثر محدودیت آب در گلرنگ توسط پژوهشگران دیگر (Mohammadi, 2016; Amiri et al., 2015) گزارش شده است. دلیل عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای آبیاری در سال دوم آزمایش بارش‌های فراوان در زمان اعمال این تیمارها (شهریور ماه) می‌باشد (جدول ۱).

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه گلرنگ در برهم‌کنش تیمارهای سال× بور× روی

Table 5- Mean compare of studied characteristics of safflower in interact year×boron×zinc

	B	Zn	درصد پوسته دانه Seed coat (%)	درصد مغز دانه Seed kernel (%)	نسبت پوسته به مغز Coat /kernel	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha^{-1})
Y_1	B_1	Zn_1	54.48^{a*}	45.75^{k}	1.196^{a}	3521.9^{g}
		Zn_2	52.3^{b}	47.7^{j}	1.102^{b}	3471.7^{g}
		Zn_3	49.1^{c-e}	50.89^{g-i}	0.969^{c-f}	4484.8^{c-e}
	B_2	Zn_1	50.36^{c}	49.64^{i}	1.02^{c}	3486.2^{g}
		Zn_2	48.5^{c-f}	51.49^{f-i}	0.946^{d-g}	4822.3^{b-d}
		Zn_3	50.08^{c}	49.92^{i}	1.009^{cd}	3685.9^{fg}
	B_3	Zn_1	49.8^{cd}	50.2^{hi}	0.998^{c-e}	3917.7^{e-g}
		Zn_2	47.97^{d-g}	52.03^{e-h}	0.927^{e-h}	4991.7^{bc}
		Zn_3	49.39^{c-e}	50.61^{g-i}	0.98^{c-f}	4235.1^{d-f}
Y_2	B_1	Zn_1	47.74^{e-h}	52.26^{d-g}	0.914^{f-i}	3940.6^{e-g}
		Zn_2	46.46^{g-j}	53.54^{b-e}	0.868^{h-j}	3870.9^{fg}
		Zn_3	44.82^{jk}	55.18^{ab}	0.812^{jk}	5979.7^{a}
	B_2	Zn_1	46.7^{f-i}	53.3^{c-f}	0.877^{g-j}	4270^{d-f}
		Zn_2	44.04^{k}	55.96^{a}	0.788^{k}	6069.2^{a}
		Zn_3	46.23^{g-j}	53.77^{b-e}	0.86^{h-k}	4757.1^{b-d}
	B_3	Zn_1	45.94^{h-j}	54.06^{b-d}	0.85^{i-k}	4999.5^{bc}
		Zn_2	44.01^{k}	55.99^{a}	0.787^{k}	6027.7^{a}
		Zn_3	45.72^{i-k}	54.28^{a-c}	0.843^{i-k}	5140.8^{b}
$LSD_{(0.05)}$			1.85	1.86	0.074	598.84

* اعداد هر ستون که دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند. حروف میانی حذف شده‌اند. به‌طور مثال abc به‌صورت a-c نمایش داده شده است.

* The numbers in each column with similar letters, don't have significant difference in 5% level based on LSD test.The middle letters are removed for instance , a-c represented the letters abc.

S_1، S_2 و S_3: به‌ترتیب بدون قطع آبیاری، قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و قطع آبیاری در مرحله دانه‌بندی، B_1، B_2 و B_3: به‌ترتیب ۰، ۳۵۰ و ۷۰۰ پی‌پی‌ام اسید بوریک. Zn_1، Zn_2 و Zn_3: به‌ترتیب ۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام سولفات روی

S_1, S_2 and S_3: Full irrigation, without irrigation in flowering stage, without irrigation in seed filling stage, respectively. B_1, B_2 and B_3: Zero, 350 and 700 ppm, Boric acid, respectively. Zn_1, Zn_2 and Zn_3: Zero, 1000 and 2000 ppm, Zinc sulfate, respectively.

Y_1 and Y_2: 2014 and 2015, respectively.

Y_1 و Y_2: به‌ترتیب سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴.

قطر طبق

نتایج تجزیه مرکب داده‌های دو سال نشان داد که اثر اصلی سال، آبیاری، بور، روی و اثرات متقابل سال×آبیاری و بور×روی بر صفت قطر طبق معنی‌دار شدند (جدول ۳). در سال اول بیش‌ترین قطر طبق در تیمار S_1 (۴۰/۸ میلی‌متر) و کم‌ترین آن در تیمار S_2 (۳۳/۸۶ میلی‌متر) مشاهده شد (جدول ۴). کاهش قطر طبق در تیمارهای S_2 و S_3 نسبت به S_1 به‌ترتیب ۱۷ درصد و ۸/۱۹ درصد مشاهده شد. در سال دوم اختلاف معنی‌داری بین سطوح آبیاری در این صفت دیده نشد (جدول ۴). مقایسه میانگین اثرات متقابل بور در روی نشان داد که محلول‌پاشی عناصر بور و روی منجر به افزایش قطر طبق در کلیه

تیمارها گردید. بیش‌ترین قطر طبق، در تیمار B_3Zn_2 مشاهده شد که با کلیه تیمارهای آزمایشی (به‌استثناء B_1Zn_1، B_1Zn_2 و B_1Zn_3) در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول ۶). قطر طبق در تیمار B_3Zn_2 نسبت به تیمار B_1Zn_1 ۱۱/۲۵ درصد افزایش نشان داد. قطر طبق از جمله اساسی‌ترین صفاتی است که تحت تأثیر تنش رطوبتی افت می‌کند و بر اجزاء عملکرد نظیر تعداد دانه در طبق تأثیر منفی می‌گذارد. تنش خشکی در مرحله زایشی باعث آسیب تعداد زیادی از گلچه‌ها و سلول‌های زایشی شده و از حجم و تعداد آن‌ها کاسته می‌شود و در نهایت، وقوع تنش در مرحله زایشی تأثیر فاحشی بر اندازه طبق‌ها دارد (Mozaffari et al., 1996). نتایج ما مطابق با نتایج رشدی و همکاران (Roshdi et al., 2005) و حاجی‌حسنی اصل و همکاران (Hajihasani Asl et al., 2009) می‌باشد. تنش خشکی باعث کاهش تولید و ارسال مواد فتوسنتزی در مرحله ظهور و پر شدن طبق شده و موجب کاهش تعداد دانه در طبق می‌شود، در نتیجه قطر طبق کاهش می‌یابد. با عنایت به یافته‌های تحقیق به نظر می‌رسد تأمین آب کافی برای گلرنگ در مرحله پر شدن دانه از اهمیت ویژه‌ای در افزایش قطر طبق و تولید عملکرد نهایی گیاه دارد، پس بروز تنش خشکی در این مرحله و یا قبل از آن (گل‌دهی) می‌تواند در کاهش اندازه طبق‌ها و تولید دانه مؤثر باشد. تأثیر منفی کمبود آب بر قطر طبق و تعداد دانه در طبق اهمیت انتخاب ژنوتیپ‌هایی با قطر طبق بیش‌تر را نشان می‌دهد. دلیل عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای آبیاری در سال دوم آزمایش نیز بارش‌های فراوان در زمان اعمال این تیمارها (شهریور ماه) بود (جدول ۱). محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی بور و روی در مرحله گل‌دهی، احتمالاً دسترسی گیاه را به مواد غذایی در مرحله تشکیل و توسعه طبق افزایش داده و در نهایت، منجر به افزایش قطر طبق شده است. افزایش قطر طبق با مصرف عناصر ریزمغذی بور و روی در گیاهان گلرنگ (Zobeidi, 2015; Roshan et al., 2016) و آفتابگردان (Marandi et al., 2012; Gangardhara et al., 1990; Sepher, 1999) گزارش شده است.

طول و عرض دانه

نتایج تجزیه مرکب داده‌های دو سال نشان داد که اثرات اصلی سال، آبیاری، بور، روی و اثرات متقابل سال×آبیاری، سال×آبیاری×بور و بور×روی بر صفت طول دانه و اثرات اصلی سال، آبیاری، بور، روی و اثرات متقابل سال×آبیاری و بور×روی بر صفت عرض دانه معنی‌دار شدند (جدول ۳). بررسی اثرات سه‌گانه سال×آبیاری×بور (جدول ۷) نشان داد که در هر دو سال آزمایش محلول‌پاشی عنصر بور در سطوح مختلف آبیاری منجر به افزایش طول دانه در کلیه تیمارها گردید. در کلیه سطوح آبیاری بیش‌ترین طول دانه در تیمار B_3 و کم‌ترین آن در B_1 مشاهده شد.

جدول ٦- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه گلرنگ در برهمکنش تیمارهای بور×روی

Table 6- Mean comparisons of studied characteristics of safflower interact boron×zinc

B	Zn	قطر طبق Capitol diameter (mm)	طول دانه Seed length (mm)	عرض دانه Seed width (mm)
B_1	Zn_1	38.5^{b*}	7.7^{f}	4.2^{c}
	Zn_2	38.54^{b}	7.81^{ef}	4.22^{c}
	Zn_3	42^{a}	8.48^{abc}	4.67^{abc}
B_2	Zn_1	38.89^{b}	7.9^{def}	4.29^{bc}
	Zn_2	42.31^{a}	8.63^{ab}	4.77^{ab}
	Zn_3	40.19^{ab}	8.07^{cdef}	4.38^{abc}
B_3	Zn_1	40.66^{ab}	8.18^{bcde}	4.46^{abc}
	Zn_2	42.83^{a}	8.84^{a}	4.89^{a}
	Zn_3	41.5^{ab}	8.37^{bcd}	4.53^{abc}
$LSD_{(0.05)}$		3.1	0.475	0.522

* اعداد هر ستون که دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

* The numbers in each column with similar letters, don’t have significant difference in 5% level based on LSD test.

B_1، B_2 و B_3: به‌ترتیب ۰، ۳۵۰ و ۷۰۰ پی‌پی‌ام اسید بوریک. Zn_1، Zn_2 و Zn_3: به‌ترتیب ۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام سولفات روی

B_1, B_2 and B_3: Zero, 350 and 700 ppm, Boric acid, respectively. Zn_1, Zn_2 and Zn_3: Zero, 1000 and 2000 ppm, Zinc sulfate, respectively.

طول دانه با محلول‌پاشی B_3 در سطوح آبیاری S_1، S_2 و S_3 در سال اول به‌ترتیب ۶/۸ درصد، ۶/۹ درصد و ۵/۶۸ درصد و در سال دوم به‌ترتیب ۵/۰۴ درصد، ۶/۴۹ درصد و ۴/۴۵ درصد نسبت به B_1 افزایش یافت. بررسی اثرات متقابل سال×آبیاری (جدول ۴) نشان داد که در سال اول آزمایش تنش خشکی منجر به کاهش عرض دانه گردید. بیش‌ترین عرض دانه (۴/۷۶ میلی‌متر) در تیمار S_1 و کم‌ترین آن (۳/۲۸ میلی‌متر) در S_2 مشاهده شد. میزان کاهش عرض دانه در سطوح آبیاری S_2 و S_3 نسبت به S_1 به‌ترتیب ۳۱/۰۹ درصد و ۲۱ درصد به‌دست آمد. در سال دوم اختلاف معنی‌داری بین سطوح آبیاری در صفت عرض دانه دیده نشد (جدول ۴). دلیل عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای آبیاری در سال دوم آزمایش نیز بارش‌های فراوان در زمان اعمال این تیمارها (شهریور ماه) بود (جدول ۱).

جدول ۷- مقایسه میانگین طول دانه گلرنگ در برهمکنش تیمارهای سال×آبیاری×بور

Table 7- Mean compare of seed length of safflower interact year×irrigation×boron

سال Year	آبیاری Irrigation	بور B	طول دانه Seed length (mm)
Y_1	S_1	B_1	8.24[c*]
		B_2	8.56[bc]
		B_3	8.8[ab]
	S_2	B_1	6.81[g]
		B_2	6.87[g]
		B_3	7.28[f]
	S_3	B_1	7.4[ef]
		B_2	7.65[de]
		B_3	7.82[d]
Y_2	S_1	B_1	8.53[bc]
		B_2	8.65[ab]
		B_3	8.96[a]
	S_2	B_1	8.46[bc]
		B_2	8.74[ab]
		B_3	9.009[a]
	S_3	B_1	8.54[bc]
		B_2	8.75[ab]
		B_3	8.92[a]
$LSD_{(0.05)}$			0.358

* اعداد هر ستون که دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

* The numbers in each column with similar letters, don't have significant difference in 5% level based on LSD test.

S_1، S_2 و S_3: به‌ترتیب بدون قطع آبیاری، قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی و قطع آبیاری در مرحله دانه‌بندی. B_1، B_2 و B_3: به‌ترتیب ۰، ۳۵۰ و ۷۰۰ پی‌پی‌ام اسید بوریک.

S_1, S_2 and S_3: Full irrigation, without irrigation in flowering stage, without irrigation in seed filling stage, respectively. B_1, B_2 and B_3: Zero, 350 and 700 ppm, Boric acid, respectively.

Y_1 و Y_2: به‌ترتیب سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴

Y_1 and Y_2: 2014 and 2015, respectively.

مقایسه میانگین اثرات متقابل بور×روی (جدول ۶) نشان داد که محلول‌پاشی عناصر بور و روی منجر به افزایش طول و عرض دانه در کلیه تیمارها گردید. بیش‌ترین درصد افزایش این صفات نسبت به شاهد در تیمارهای B_3Zn_2، B_2Zn_2 و B_1Zn_3 مشاهده شد. با محلول‌پاشی تیمارهای B_3Zn_2، B_2Zn_2 و B_1Zn_3 طول دانه به‌ترتیب ۱۴/۸ درصد، ۱۲/۰۸ درصد و ۱۰/۱۳ درصد و عرض دانه به‌ترتیب ۱۶/۴۳ درصد، ۱۳/۵۷ درصد و ۱۱/۱۹ درصد نسبت به B_1Zn_1 افزایش نشان دادند.

کاهش شدید طول و عرض دانه می‌تواند به‌دلیل کاهش سنتز مواد فتوسنتزی و در نتیجه اختلال در پرشدن دانه‌ها تحت شرایط تنش رطوبتی باشد که این موضوع باعث تولید دانه‌هایی لاغر و چروکیده شده است. در تحقیقات دیگر نیز تأثیر منفی کمبود آب بر بسیاری از ویژگی‌های فیزیکی دانه مانند طول و عرض دانه به اثبات رسیده است (Alahdadi et al., 2012; Baldini & Vannozzi, 1996; Taherabadi, 2011). استفاده از ریزمغذی‌ها احتمالاً باعث رشد بهتر دانه، در راستای طولی و عرضی شده است که نشان‌دهنده اثر مطلوب آن‌ها بر این دو بعد است. عنصر روی با مشارکت در سنتز اکسین (Janik, 1984)، تقسیم سلولی و سنتز کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها (Ahmad & Abdel, 1995) و عنصر بور با مشارکت در ساختار دیواره‌های سلولی و تکامل آوندهای چوبی (Brown et al., 2002) و متابولیسم کربوهیدرات‌ها و ریبونوکلئیک اسیدها (Camacho-Cristóbal & González-Fontes, 1999) می‌توانند در افزایش ابعاد دانه (طول و عرض آن) مؤثر باشند. کاربرد عنصر روی باعث افزایش طول (Ali et al., 2014; Ghasal et al., 2016) و عرض دانه (Ali et al., 2014) در گیاه برنج گردید. در مطالعه‌ای دیگر در برنج عرض دانه تحت تأثیر عنصر روی قرار نگرفت، درحالی‌که طول دانه با کاربرد روی افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد (Seifi Asli, 2017).

عملکرد دانه

نتایج تجزیه مرکب داده‌های دو سال نشان داد که اثرات اصلی سال، آبیاری، بور، روی و اثرات متقابل سال×آبیاری، بور×روی و سال×بور×روی بر صفت عملکرد دانه معنی‌دار شدند (جدول ۳). در سال اول بیش‌ترین عملکرد دانه در تیمار بدون قطع آبیاری (S_1) و کم‌ترین آن در تیمار قطع آبیاری در گل‌دهی (S_2) مشاهده شد (جدول ۴). کاهش عملکرد دانه در تیمار S_2 و S_3 نسبت به S_1 به‌ترتیب ۱۵/۶۲ و ۱۲/۷۷ درصد مشاهده شد. در سال دوم اختلاف معنی‌داری بین سطوح آبیاری در این صفت دیده نشد (جدول ۴). مقایسه میانگین اثرات سه‌گانه سال×بور×روی (جدول ۵) نشان داد که در هر دو سال آزمایش بیش‌ترین عملکرد دانه در تیمارهای B_3Zn_2 و B_2Zn_2 مشاهده شد. میزان افزایش عملکرد دانه نسبت به شاهد با محلول-پاشی B_3Zn_2 و B_2Zn_2 در سال اول به‌ترتیب ۴۱/۷۳ و ۳۶/۹۲ درصد و در سال دوم ۵۲/۹۶ و ۵۴/۰۲ درصد مشاهده گردید.

محققان کاهش عملکرد دانه در شرایط محدودیت آب را گزارش دادند (Movahedi-Dehnavi et al., 2007; Yari et al., 2015). همان‌طور که قبلاً بیان شد دلیل عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای آبیاری در سال دوم آزمایش، بارش‌های فراوان در زمان اعمال این تیمارها (شهریور ماه) بود (جدول ۱).

نقش قابل توجه عناصر ریزمغذی در وزن هزار دانه و عملکرد توسط محققان گزارش شده است (Singh et al., 1996). عنصر بور با تأثیر در فتوسنتز باعث انتقال کربوهیدرات‌ها می‌شود و از آن‌جاکه در پایان ذخیره این مواد در دانه صورت می‌گیرد، می‌توان اظهار نمود که محلول‌پاشی بور سبب افزایش عملکرد دانه می‌گردد (Sangale et al., 1981; Ramesh et al., 1999). براون و همکاران (Brown et al., 1993) در توضیح نقش روی در میزان عملکرد عنوان کردند که شکل‌گیری اندام‌های زایشی نر و ماده و فرایند گرده‌افشانی در اثر کمبود روی، مختل می‌شوند که منجر به کاهش شدیدی در عملکرد می‌شود. آن‌ها این امر را به کاهش تولید ایندول استیک اسید نسبت دادند. همچنین افزایش عملکرد در اثر مصرف بور می‌تواند به‌علت میزان کم بور قابل دسترس برای گیاه در خاک و نقش اساسی این عنصر در گیاه باشد که در متابولیسم گیاهی و سنتز اسیدهای نوکلئیک نقش دارد (Ghalavi et al., 2007). محققان بیان کردند که محلول‌پاشی عنصر روی باعث افزایش عملکرد دانه در گیاهان کنجد (Ahmadi et al., 2012)، کتان (Khiavi et al., 2011)، کلزا (Ebrahimian et al., 2015) و گلرنگ (Aytac et al., 2014؛ Movahedi-Dehnavi et al., 2009) گردید. همچنین اثر مثبت بور در افزایش عملکرد آفتابگردان (Khan et al., 2015)، چغندر قند (Dordas et al., 2007) پنبه (Dordas, 2006a) و یونجه

(Dordas, 2006b) نتایج آزمایش ما را تأیید کرد.

همبستگی صفات مورد مطالعه

نتایج به‌دست آمده نشان‌دهنده همبستگی مثبت و معنی‌دار عملکرد دانه با صفاتی هم‌چون درصد مغز دانه (۰/۷۵**)، تعداد برگ (۰/۴۲**)، قطر طبق (۰/۶۱**)، طول دانه (۰/۷۲**) و عرض دانه (۰/۶۵**) و همبستگی منفی و معنی‌دار عملکرد دانه با درصد پوسته دانه (-۰/۷۴**) و نسبت پوسته به مغز (-۰/۷۲**) می‌باشد (جدول ۸).

جدول ۸- ضرایب همبستگی بین عملکرد و صفات زراعی گلرنگ در دو سال زراعی۹۳- ۱۳۹۲ و ۹٤ -۱۳۹۳

Table 8- Correlation coefficient between seed yield and agronomy characteristics of safflower in safflower during 2013-14 and 2014-15 growing seasons

	عملکرد دانه Seed yield	درصد پوسته دانه Seeed coat percentage	درصد مغز دانه Seed kernel percentage	نسبت پوسته به مغز Coat /kernel	ارتفاع بوته Plant height	تعداد برگ Leaf number	قطر طبق Capitol diameter	طول دانه Seed length	عرض دانه Seed width
عملکرد دانه Seed yield	1								
درصد پوسته دانه Seed coat percentage	-0.74**	1							
درصد مغز دانه Seed kernel percentage	0.75**	-0.99**	1						
نسبت پوسته به مغز Coat/Kernel	-0.72**	0.99**	-0.99**	1					
Plant height ارتفاع بوته	0.35**	-0.36**	0.36**	-0.36**	1				
تعداد برگ Leaf number	0.42**	-0.63**	0.64**	-0.64**	0.25**	1			
قطر طبق Capitol diameter	0.61**	-0.81**	0.82**	-0.81**	0.38**	0.54**	1		
طول دانه Seed length	0.72**	–0.93**	0.93**	-0.93**	0.36**	0.68**	0.83**	1	
عرض دانه Seed width	0.65**	-0.87**	0.87**	-0.86**	0.35**	0.71**	0.82*	0.92**	1

ns، * و **: به‌ترتیب عدم وجود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱

**, * and ns: are significant at p≤ 0.01 and p≤ 0.05 and not significant, respectively.

نتیجه‌گیری

عملکرد دانه و ویژگی‌های فیزیکی و مورفولوژیک گلرنگ تحت تأثیر شرایط رطوبتی حاکم بر مزرعه و هم‌چنین کاربرد عناصر بور، روی و ترکیب توأم آن‌ها قرار می‌گیرد. با اعمال تنش کم‌آبی در سال اول آزمایش صفات عملکرد، طول و عرض بذر، درصد مغز بذر، تعداد برگ و قطر طبق کاهش و در مقابل صفات درصد پوسته و نسبت پوسته به مغز بذر افزایش آشکاری نسبت به شاهد نشان دادند. در صفات مذکور حساسیت مرحله گل‌دهی نسبت به دانه‌بندی به کم‌آبی بیش‌تر بود. در شرایط تنش در مرحله گل‌دهی محلول‌پاشی B_3 منجر به بالاترین افزایش در طول دانه گلرنگ در هر دو سال گردید. اعمال تیمارهای بور، روی و ترکیب توأم آن‌ها منجر به اثرات مثبت و معنی‌داری در اکثر صفات مورد بررسی گردید و ترکیبات تیماری B_3Zn_2 و B_2Zn_2 نسبت به دیگر تیمارها برتر بودند. به‌طوری‌که بالاترین مقدار عملکرد، طول، عرض و مغز بذر و قطر طبق و کم‌ترین مقدار پوسته و نسبت پوسته به مغز در این تیمارها مشاهده شد. کلیه صفات مورد بررسی در این آزمایش همبستگی معنی‌داری با عملکرد دانه نشان دادند. بنابراین، اصلاح این صفات می‌تواند به بهبود عملکرد گلرنگ در شرایط مختلف محیطی منجر شود.

References

Agnes, M.S.N., 1995. Effect of the time of B application on almond tissue, B concentration and fruit set. 92nd Annual Meeting of the American Society for Horticultural Science, 40th Annual Congress of the Canadian Society, Abstracts Contributed Papers (Oral and Poster) Colloquia Workshops for Horticultural Science 30(4): 879.

Ahmad M., and Abdel F.M., 1995. Effect of urea, some micronutrients, and growth regulators foliar spray on the yield, fruit quality and some vegetative characters of 'Washington navel' orange trees. 92nd Annual Meeting of the American Society for Horticultural Science, 40th Annual Congress of the Canadian Society, Abstracts Contributed Papers (Oral and Poster) Colloquia Workshops for Horticultural Science 30(4):774.

Ahmadi, J., Seyfi, M.M., and Amini, M., 2012. Effect of spraying micronutrients Fe, Zn and Ca on grain and oil yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) varieties. Electronic Journal of Crop Production 5 (3): 115-130. (In Persian with English Summary)

Akbari, G.A., Jabbari, H., Daneshian, J., Alahdadi, I., and Shahbazian, N., 2008. The effect of limited irrigation on seed physical characteristics in sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids. Journal of Water and Soil Science 12(45): 513-523. (In Persian with English Summary)

Alahdadi, I., Oraki, H., and Parhizkar Khajani, F., 2012. Seed physical characteristics in some sunflower cultivars under water deficit stress. Journal of Agricultural Machinery Engineering 2(1): 58-66. (In Persian with English Summary)

Ali, H., Hasnain, Z., Shahzad, A.N., Sarwar, N., Qureshi, M.K., Khaliq, S., Qayyum, M.F., 2014. Nitrogen and zinc interaction improves yield and quality of submerged Basmati rice (*Oryza sativa* L.). Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca 42(2):372-379.

Allaf. M., and Shokoohfar, A., 2016. Interaction deficit irrigation operations and nitrogen rates on the quantitative yield and oil percentage of sunflower Sanbura cultivar (*Helianthus annuus* L.). Crop Physiology Journal 7(28): 61-72. (In Persian with English Summary)

Alloway, B.J., 2004. Zinc in Soils and Crop Nutrition. International Zinc Association (IZA). Belgium, 128p.

Amiri, A., Yadolahi, P., Siroosmehr, A.R., and Esmaeilzade, S., 2015. Effect of drought stress and chitosan and salicylic spray on morphological parameters of *Carthamus tinctorius* L. in Sistan. Journal of Oil Plants Production 2(1): 43-56. (In Persian with English Summary)

Anonymous., 2013. Safflower cultivation instructions. Ministry of Agriculture Jihad, Seed and Plant Improvement Institute. Karaj. Iran. P. 6. (In Persian)

Arab, S., Baradaran-Firoozabadi, M., Asghari, H.R., Gholami, A., and Rahimi, M., 2016. The effect of ascorbic acid and sodium nitroprusside foliar application on seed yield, oil and some agronomical traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under water deficit stress. Environmental Stresses in Crop Sciences 9(1): 15-27. (In Persian with English Summary)

Arvin, P., Vafa bakhsh, J., and Mazaheri, D., 2018. Study of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and drought on physiological traits and ultimate yield of cultivars of oilseed rape (*Brassica* spp. L.). Journal of Agroecology 9(4): 1208-1226. (In Persian with English Summary)

Aytac, Z**.,** Gurmezoglu, N., Sirel, Z., Tolay, I., and Torun, A.A., 2014. The Effect of zinc on yield, yield components and micronutrient concentrations in the seeds of safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.). Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca 42(1): 202-208.

Baldini, M., and Vannozzi. G., 1996. Crop management practice and environmental effects on hullability in sunflower hybrids. Helia 19, 47-62.

Brown, P., Bellaloui, N., Wimmer, M.A., Bassil, E.S., Ruiz, J., Hu, H., Pfeffer, H., Dannel, F., and Römheld, V., 2002. Boron in plant biology. Plant Biology 4(2): 205-223.

Brown, P.H., Cakmak, I., and Zhang, Q., 1993. Form and function of zinc plants. In: Robson. A.D., (Ed.). In Zinc in Soils and Plants. Springer Netherlands 93-106.

Camacho-Cristóbal, J.J., and González-Fontes, A., 1999. Boron deficiency causes a drastic decrease in nitrate content and nitrate reductase activity, and increases the content of carbohydrates in leaves from tobacco plants. Planta 209(4): 528-536.

Dordas, C., 2006a. Foliar boron application affects lint and seed yield and improves seed quality of cotton grown on calcareous soils. Nutrient Cycling in Agroecosystems 76: 19-28**.**

Dordas, C., 2006b. Foliar boron application improves seed set, seed yield, and seed quality of alfalfa. Agronomy Journal 98: 907-913.

Dordas, C., Apostolides, G.E., and Goundra, O., 2007. Boron application affects seed yield and seed quality of sugar beets. Journal of Agricultural Science 145: 377-384.

Ebrahimian, E., Baybordi, A., Seyyedi, S.M., and Mohammadi Kia, R., 2015. Effects of nitrogen, zinc and water

salinity levels on yield, quality indices and nutrient uptake in canola (*Brassica napus* L.) Okapi variety. Journal of Agroecology 7(1): 120-126. (In Persian with English Summary)

Fanaei, H.R, and Narouirad, M.R., 2014. Study of yield, yield components and tolerance to drought stress in safflower genotypes. International Journal of Crop Production 7(3): 33 -51. (In Persian with English Summary)

Fanaei, H.R., Azmal, A., and Piri, I., 2017. Effect of biological and chemical fertilizers on oil, seed yield and some agronomic traits of safflower under different irrigation regimes. Journal of Agroecology 8(4): 551-566. (In Persian with English Summary)

Farrokhinia, M., Roshdi, M., Pasbaneslam, B., Sasandoost, R., 2011. Study of some physiological traits and yield in spring safflower under water deficit stress. Iranian Journal of Field Crops Science 42(3): 545-553. (In Persian with English summary)

Fathi, F., 2011. Effect of salinity stress, salicylic acid and foliar application of zinc on growth, seed yield and oil of sunflower (*Helianthus annuus* L.). MSc Thesis. University of Birjand. Iran. (In Persian with English summary)

Galavi, M., Heidari, M., and Zamani, M., 2007. Effects of zinc sulphate spray on quality, yield and yield components of rapeseed (*Brassica napus* L.). Faculty of and magnesium and soil-applied boron. Journal of Plant Nutrrient 18(1): 179-200.

Gangardhara, G.A., Manju, H.M., and Satyanarayana, T., 1990. Effect of micronutrients on the yield and uptake by sunflower. Indian Society of Soil Science 40: 591-593.

Ghasal, P.C., Shivay, Y.S., Pooniya, V., Kumar, P., and Verma, R.K., 2016. Zinc fertilization enhances growth and quality parameters of aromatic rice (*Oryza sativa* L.) varieties. Indian Journal of Plant Physiology 21(3): 323-332.

Ghassemi, S., Yaghoubian, I., and Moradi, M., 2016. Effects of hydro-priming Durations and Water Stress on some morphological characteristics of Safflower. Biological Forum–An International Journal 8(1): 466-470.

Gupta, R.K, and Das, S.K., 1997. Physical properties of sunflower seeds. Journal of Agricultural Engineering Research 66: 1–8.

Hajihasani Asl., N., Roshdi, M., Ghafari, M., Alizadeh, E., and Moradi Aghdam, A., 2009. Effect of drought stress and leaf defoliation on some of agronomical traits, traits, yield and yield components of oil sunflower. Agroecology Journal (Journal of New Agricultural Science) 5(15): 25-39. (In Persian with English Summary)

Heidarian, A.R., Kord, H., Mostafavi, K., and Amin-Mashhadi, F., 2011. Investigating Fe and Zn foliar application on yield and its components of soybean (*Glycine max* L. Merr.) at different growth stages. Sustainable Agriculture 28: 41-54.

Jafarzadeh Kenarsari, M., and Poostini, K., 1997. Investigation of effect drought stress in growth different stages on some morphological traits and yield components of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Iranian Journal of Agriculture Science 29(2): 353-361. (In Persian with English Summary)

Janik, J., 1984. Foliar nutrition of fruit crops. Horticultural Reviews 6: 289-338.

Karimi, A.R., Behdani, M.A., Eslami, S.V., and Fathi, M.H., 2017. Yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) as affected by micronutrient application and vermicompost in two Kerman and Bardsir regions. Journal of Agroecology 9(2): 505-519. (In Persian with English Summary)

Karimzadeh Asl, K., Mazaheri, D., and Peighambari, A., 2004. Effect of four irrigation intervals on growth of three sunflower cultivars. Desert Journal 9(2): 255-266. (In Persian with English Summary)

Khan, I., Anjum, S.A., Qardi, R.W.K., Ali, M., Chattha, M.U., and Asif, M., 2015. Boosting achene yield and yield related traits of sunflower hybrids through boron application strategies. American Journal of Plant Sciences 6: 1752-1759.

Khiavi, M., Khorshidi, M.B., Ismaeili, M., Azarabadi, S., Faramarzi, A., and Emaratpardaz, J., 2011. Effect of foliar application of boron and zinc on yield and some qualitative characteristics of two rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. Jornal of Water and Soil Science 1(3): 31-45. (In Persian with English Summary)

Lewis, D.C., and McFarlane, J.D., 1986. Effect of foliar applied manganese on the growth of safflower (*Carthamus* tinctorius L.) and the diagnosis of manganese deficiency by plant tissue and seed analysis. Australian Journal of Agricultural Research 37: 567-572.

Lindstrom, L.I., Pellegrini, C.N., Aguirrezabal, L.A.N., and Hernandez, L.F., 2006. Growth and development of sunflower fruits under shade during pre and early post-anthesis period. Field Crops Research 96: 151-159.

Marandi, J., Jalili, F., and Valizadegan, V., 2012. The effect of methods and sources of nitrogen and micronutrient on agronomic characteristics and yield of sunflower. Journal of Research in Agricultural Science 5(17): 71-83. (In Persian with English Summary)

Marschner, H., 1995. Functions of mineral nutrients: Macronutrients. Mineral nutrition of higher plants 2nd Edition. Academic Press, New York p. 299-312.

Mehrpouyan, M., 2010. Study on CO_2 exchange, photosynthesis and grain yield in sunflower cultivars under drought stress conditions. Journal of Crop Production Research 3(2): 197-206. (In Persian with English Summary)

Mohammadi, M., 2016. Evaluation of some physiological changes and seed quality of safflower cultivars in response to water deficit. Ph.D Thesis. University of Tabriz, Iran. (In Persian with English summary)

Movahedi- Dehnacvi, M., and Modares-Sanavi, A.M., 2007. Effect of Zn and Mn micronutrients foliar application on yield and yield components of three winter safflower under drought stress in Isfahan. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 13(2): 1-11. (In Persian with English Summary)

Mozaffari, K., Arshi, Y., and Zeinali Khanghah, H., 1996. Research on the effects of water stress on some morphophysiological traits and yield components of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Seed and Plant Journal 12(3): 24-33. (In Persian with English Summary)

Nam, N.H., Chauhan, Y.S., and Johansen, C., 1993. Comparison of extra-short-duration pigeonpea with short-season legumes under rainfed conditions on alfisols. Experimental Agriculture 29: 307-316.

Omidi, A.H. 2009. Effect of drought stress at different growth stages on seed yield and some agro-physiological traits of three spring safflower cultivars. Seed and Plant Production of Journal 25: 15-31. (In Persian with English Summary)

Ramesh, S., Raghbir, S., Mohinder, S., Sharam, R., Singh, R., and Singh, M., 1999. Effect of P, Fe on the yield of sunflower. Annals Agricultural Research 4: 445-450.

Ravi, S., Channal, H.T., Hebsur, N.S., Patil, B.N., and Dharmatti, R., 2008. Effect of sulphur, zinc and iron nutrition on growth, yield, nutrient uptake and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) Agriculture Science 21: 382-385.

Ravishankar, K.V., Shanker, R.V. and Kumar, M.V., 1990. Relative stability of seed and kernel oil content under moisture stress in sunflower evolutionary adaptation or physiologycall constrained. Indian Journal of Plant Physiology 9(4): 437-448.

Rezvani Moghaddam, P., Norouzian, A., and Seyyedi, S.M., 2015. Evaluation the effects of manure and mycorrhizal inoculation on grain and oil yield of spring safflower cultivars (*Carthamus tinctorius* L.). Journal of Agroecology 7(3): 331-343. (In Persian with English Summary)

Roshan, F., Moradi Telavat, M., and Siadat, S.A., 2016. Effect of foliar application of zinc sulfate at phonological growth stages on yield and yield components of spring safflower cultivars. Journal of Crops Improvement 17(4): 1063-1074. (In Persian with English Summary)

Roshdi, M., and Rezadoost, S., 2005. The effect of different levels of irrigation on the qualitative and quantitative features in varieties of sunflower (*Helianthus annuus* L.). Iranian Journal of Agriculture Science 12(6): 1241-1250. (In Persian with English Summary)

Roshdi, M., Heydari Sharifabad, H., Karimi, M., Noor Mohammadi, G., and Darvish, F., 2005. A survey on the impact of water deficiency over the yield of sunflower seed cultivar and its components. Journal of Agricultural Sciences, Islamic Azad University 12(1): 110-120. (In Persian with English Summary)

Sadeghi-Bakhtouri, A.R., Pasban Eslam, B., Ghorbi, S., and Mohammadi, H., 2014. Effects of priming and water stress on growth, yield and yield attributes of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Iranian Journal of Oilseed Plant 4(2): 59-74. (In Persian with English Summary)

Sangale, P.B., Palit, G.D., and Daftardar, S.Y., 1981. Effect foliar application of zinc, iron and boron on yield of safflower. Journal of Maharashtra Agriculture University 6: 65-66.

Sarker, S.K., Chowdhury, M.A.H., and Zakir, H.M., 2002. Sulfur and boron fertilization on yield quality and nutrient uptake by Bangladesh soybean. Biological Sciences 11: 729-733.

Seifi Aski, S., Niknezhad, Y., and Fallah Amoli, M., 2017. The effect of foliar application of micronutrient on quality characteristics of local rice varieties. First National Conference on New Technologies in Iranian Food Science and Technology p. 50-55. (In Persian)

Shrestha, R., Turner, N.C.M., Siddique, K.H., Turner, D.W., and Speijers, J., 2006. A water deficit during pod development in lentils reduces flower and pod number but not pod size. Australian Journal of Agricultural Research 57(4): 427-438.

Singh, R., Sharma, R.K., and Singh, M., 1996. Effect of P, Zn, Fe, $CaCO_3$, and farmyard manure application on yield and quality of sunflower. Annals of Biology Ludhiana 12: 203-208.

Taherabadi, S., 2011. Effect of drought stress in different growth stages on physiological indices of sunflower cultivars. M.Sc Thesis. Urmia University. Iran. pp 115. (In Persian with English summary)

Tahmasebpour, B., and Mohammadian, R., 2013. The study of drought stress effect on yield and yield components in summer safflower cultivars. International Journal of Research in Agriculture and Food Sciences 1(1): 30-35.

Taiz, L., and Zeiger, E., 2002. Plant physiology. 3rd Edition, Sinauer Associates, Sunderland, USA, pp. 690.

Talha, M. 1976. A comparison between two systems of irrigation on sunflower production. Egyptian Journal of Soil Science 16(1):81-92.

Yari, P., Keshtkar, A.H., and Sepehri, A., 2015. Evaluation of water stress effect on growth and yield of spring safflower. Plant Production Technology 14(2): 101-117. (In Persian with English Summary)

Zobeidi, S., 2015. Effect of boron on yield and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) genotypes. M.Sc Thesis. Ramin University of Agriculture and Natural Resources. Iran. (In Persian with English summary)

Journal of Agroecology
Vol. 11, No.4, Winter 2020, p. 1275-1291

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۱، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۸، ص ۱۲۹۱-۱۲۷۵

Effects of Drought Stress and Foliar Application of Boron and Zinc on Yield and Some Agronomic and Morphological Traits of Spring Type Safflower (*Carthamus tinctorius* L.)

S. Soheili- Movahhed[1], S. Khomari[2*], P. Sheikhzadeh[3] and B. Alizadeh[4]

Submitted: 14-04-2018
Accepted: 08-09-2018

Soheili- Movahhed, S., Khomari, S., Sheikhzadeh, P., and Alizadeh, B. 2020. Effects of drought stress and foliar application of boron and zinc on yield and some agronomic and morphological traits of spring type safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Journal of Agroecology. 11 (4):1275-1291.

Introduction
Plants under natural and agronomic conditions are constantly exposed to different stresses. In this regard, drought stress is the most important limiting factor to crop yields in many parts of the world and Iran, particularly, if the water stress occurs during the flowering stage, it will affect the crop production. Drought stress disrupts the nutritional balance of plant. Proper nutrition under stress conditions can partly help plant against various stresses. Plants growth under stress can be improved by micro nutrients foliar application. Boron is important in the plant growth and its deficiency is one of the major constraints to crop production. Zinc plays a key role in the various biochemical processes of plant cells. Its deficiency will be apparent in various forms such as growth retardation, yield and concentration of the element in different parts of a plant such as seeds. The aim of this study was to investigate the effect of boron and zinc foliar application on yield and some agronomic and morphological traits of spring safflower (cv. Mahalli-e Esfahan) under late-season water deficit in Ardabil province.

Materials and Methods
The field experiment was conducted at the Research Farm of the University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran during 2013-14 and 2014-15 growing seasons. The experimental design was a split factorial in a randomized complete block with three replications. Three irrigation treatments (S_1: full irrigation until the end of season (control), S_2: irrigation with holding from flowering and S_3: irrigation with holding from seed filling) were randomized to the main plots and the sub-plot included factorial combination of B (B_1: 0, B_2: 350, B_3: 700 ppm) and Zn (Zn_1: 0, Zn_2: 1000, Zn_3: 2000 ppm). B was added as boric acid (H_3BO_3) and Zn as zinc sulfate **(**$ZnSO_4$). The treatments were applied during flowering (when 50% of the plants were at anthesis) as foliar applications. All other agricultural practices (weeds control and irrigation), were performed when they were required and as recommended for safflower production. The measured traits included seed coat percentage, seed kernel percentage, seed coat to kernel ratio, leaf number, capitol diameter, seed length, seed width and seed yield. Analyses of variance and comparison of means at $P \leq 0.05$ were carried out, using SAS 9.1 software. The means were compared using LSD test.

Results and Discussion
Combined analysis of variance of the data showed that year, irrigation and year × irrigation interaction were significant for all the traits. Also, all traits (except leaf number) were significantly affected by B, Zn and B × Zn interaction. Seed coat percentage, seed kernel percentage and seed coat to kernel ratio were significantly affected by year×B, year × Zn and year×B×Zn interactions. Seed length and seed yield were significantly affected by year×irrigation×B and year×B×Zn interactions, respectively. During the first year, all the investigated traits influenced from deterrent impacts of drought stress. Water deficit stress at the flowering and seed filling stages significantly decreased seed yield compared to full irrigation (15.62% at flowering and 12.77% at seed filling). During the second year, there was no significant difference among all the treatments due to heavy rainfall. The results showed that B and Zn foliar application had a positive and significant effect on seed coat percentage, seed kernel percentage, seed coat to kernel ratio, capitol

1, 2, 3 and 4- Graduate, Associate Professor and Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran and Associate Professor, Department of Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: saeid.khomari@yahoo.com)
Doi: 10.22067/jag.v11i4.72028

diameter, seed length, seed width and seed yield. The treatments of B_3Zn_2 and B_2Zn_2 had the greatest increase of these parameters in comparison with B_1Zn_1 (control) in both years. Boron and zinc foliar application significantly improved most traits under water stress levels.

Conclusion
The significant positive correlation between yield and other studied traits indicated that on-time and sufficient foliar spray of micronutrients mediated drought tolerance in safflower plants. In general, foliar application of boron and zinc compared with control could alleviate the drought damages to safflower.

Acknowledgments
We would like to thank from the Faculty of Agriculture, Mohaghegh Ardabili University, for supporting this study.

Keywords: Drought stress, Micronutrients, Seed coat and kernel